

# Estudo Sistemático de Modelo Numérico de Terreno com o Sistema Geográfico de Informações (SGI/SITIM)

ÁLVARO PEÇANHA MARTINS NETO<sup>1</sup>  
NEWTON MOREIRA DE SOUZA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UnB - Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Civil  
70910-900 Brasília, DF, Brasil

**Abstract.** This paper contains a systematic study of the Terrain Numerical Model in the Geographic Information System (SGI/INPE). The evaluation of interpolators, exponents, and number of close points was taken into consideration during the process of grid transformation.

## 1. Introdução

O tratamento de informações por computador já se constitui norma geral em todos os ramos de atividades. As ciências exatas se utilizam amplamente dos benefícios gerados por esta poderosa ferramenta.

Das informações de que tratam as engenharias e as geociências, em especial, aquelas que expressam a distribuição superficial de valores quantitativos podem ser estudadas através de Modelos Numéricos do Terreno (MNTs), possuidores de grande importância, uma vez que a análise das feições destes modelos nos permite entender melhor as variáveis existentes.

Os resultados de processamentos realizados com esses MNTs somam-se a outras informações, que em conjunto podem ser utilizadas para estudar o meio físico de uma região. Do ponto de vista da engenharia civil, esses resultados permitem a racionalização de planejamento, projeto e execução de obras, cálculos, simulações e geração de novos produtos.

A intenção deste trabalho foi estudar, sistematicamente, a capacidade do Sistema Geográfico de Informações [SGI-Engespaço (1990)] para gerar MNTs, observando os diferentes caminhos possíveis nos processamentos. Foi objetivo específico estudar o método de digitalização e o processo de geração de grade. Na geração de grade regular, um passo fundamental para

realizar qualquer operação com os MNTs, é possível se utilizar seis interpoladores, oito expoentes e dezesseis valores para o número de pontos mais próximos. Para avaliar-se os MNTs, a partir destes foram geradas isolinhas e comparadas com as isolinhas digitalizadas.

O desempenho dos equipamentos disponíveis no laboratório também foi avaliado neste trabalho, no que diz respeito ao consumo de memória e tempo destes processamentos.

Como resultado da pesquisa pode-se ressaltar a orientação aos usuários no sentido de auxiliar na escolha das opções oferecidas pelo sistema, escapando da opção padrão ("default"). Além disso, a partir de MNTs podem ser gerados produtos tradicionalmente necessários ao analista do meio físico que somente são obtidos com muito trabalho manual sistemático.

## 2. Procedimentos

O modelo topográfico do terreno é o típico MNT tratado por Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). A utilização destes MNTs tem grande importância por si próprio, e na geração de outros produtos com imagem sintética.

Para a realização dos experimentos, foram escolhidos três módulos com áreas de 3 km X 3 km. Selecionou-se estas áreas de forma a se ter características distintas quanto a valores de declividade e sinuosidade das curvas de nível.

Assim foram criados três projetos na escala 1/10.000: MC1, MC2 e MC3. Para cada projeto foram digitalizados dois planos de informação (PIs), segundo dois padrões de espaçamento entre pontos, 5 e 10 metros, resultando assim na escala de trabalho, intervalos de 0,5mm e 1mm sobre a mesa digitalizadora, respectivamente.

### 2.1 Módulo MC1

A primeira área, parte da carta São Francisco, folha SF-23-Y-A-V-4-NO-A, caracterizada por uma amplitude de relevo de 105 m e curvas de nível com declividades e sinuosidades medianas, consumiu, para cada PI, 2 horas de digitalização

Desde o início da digitalização, ficou estabelecida uma estratégia de entrada de dados, que consistia em iniciar por um canto do mapa, seguir acompanhando a curva até que o cursor saísse da área de projeto. Como a área de projeto havia sido definida exatamente 3 km X 3 km, ao sair desta, a entrada de pontos se interrompe. Voltando à área de projeto, acionava-se o comando de armazenamento. O limite de projeto atua como uma guilhotina para a linha digitalizada. A próxima curva de nível a ser digitalizada seria a seguinte, à partir do ponto de início anterior, obedecendo o sentido horário. Esta maneira de avançar permitia assimilar o padrão das curvas. Em trechos onde as curvas de nível são mais próximas (declividade alta) optou-se por armazenar a isolinha seccionadas, para facilitar possíveis correções.

### 2.2 Módulo MC2

O projeto MC2 foi extraído da carta Jardim Santa Isabel, folha SF-23-Y-A-V-4-SO-B, constituiu-se no mais complexo, principalmente devido à litologia presente - siltito, que condicionou relevo com amplitude de 77 m, com alta densidade de drenagem, resultando, dentre os três, o de

maior declividade e sinuosidade das curvas de nível.

Procedeu-se a digitalização de forma semelhante à executada no módulo MC1. Cada PI levou cerca de 4 horas para ser digitalizado.

### 2.3 Módulo MC3

A terceira área, projeto MC3, extraída da carta Barão Geraldo, folha SF-Y-A-V-4-NE-C, foi a área mais simples, apresentando baixa declividade e curvas de nível de pequena sinuosidade, apesar da amplitude de relevo de 65 m, próxima a do MC2.

O tempo de digitalização foi de cerca de 1 hora para cada um dos PIs, seguindo o mesmo padrão de entrada de dados do projeto MC1.

### 2.4 Comparação da digitalização

Comparou-se a digitalização entre PIs visualizando-os ao mesmo tempo no monitor, adotando cores de linhas diferentes para cada um deles. Para verificar a precisão da digitalização e corrigir os erros, os PIs foram plotados em papel vegetal e sobrepostos aos originais.

### 2.5 Organização de pontos e geração de grade regular

Tendo os 6 PIs dos 3 projetos, procedeu-se à organização de pontos para cada um deles, aceitando a opção que era oferecida ("default"). Este constituiu-se no processamento mais demorado de todo o trabalho, chegando a 45 min para o projeto MC2 com 5 m entre pontos, no equipamento 386, clock de 33 Mhz.

Após organizar pontos o procedimento é o de gerar grade regular, onde residiu a maior preocupação do trabalho. Avaliou-se os interpoladores, os seus expoentes da função peso e o número de pontos mais próximos. O processamento para geração destas grades variou entre 56s e 3min21s usando o equipamento 386, e em torno de 15 a 20 minutos no equipamento 286, clock de 10 Mhz.

Em seguida procedeu-se ao refinamento destas grades, gerando uma imagem com 256 níveis de cinza, onde a cota mínima assume o valor 0 e a cota máxima o valor 255. Os eventuais erros de digitação de cota das curvas de nível foram corrigidos pela apresentação no modo raster. Nesses casos, após a correção, era novamente necessário organizar pontos.

Dentre os 6 tipos de interpoladores disponíveis, os quatro primeiros, tinham como segunda opção selecionar o número de pontos mais próximos, e todos solicitavam, por fim, o expoente da função peso ( $n$ ), que podia variar de 1 a 8. Realizou-se testes sempre com os valores 1 ("default"), 4 e 8.

Os interpoladores 1 (média dos  $N$  pontos mais próximos, peso:  $w=1/d^{**n}$ ) e 2 (média dos  $N$  pontos mais próximos, peso:  $w=\exp(-\alpha*d^{**n})/d^{**n}$ ), tinham para o número de pontos mais próximos qualquer valor inteiro entre 1 e 16. Experimentou-se os valores 1, 4 ("default"), e 16. O usuário não tem controle sobre a variável alfa.

Os interpoladores 3 ( $N$  pontos mais próximos/quadrante, peso:  $w=1/d^{**n}$ ) e 4 ( $N$  pontos mais próximos/quadrante, peso:  $w=\exp(-\alpha*d^{**n})/d^{**n}$ ), tinham para o número de pontos mais próximos qualquer valor inteiro entre 1 e 3. Adotou-se os valores 1, 2 ("default"), e 3. A variável alfa também não pode ser controlada pelo usuário para esses interpoladores.

Os interpoladores 5 (mais próximo/cota, peso:  $w=1/d^{**n}$ ) e 6 ("default"), (mais próximo/cota/quadrante, peso:  $w=1/d^{**n}$ ), completam as opções.

Esta descrição do universo de interpoladores, número de pontos mais próximos e expoentes da função peso, revelam um total de 320 opções. A programação inicial contemplava 42 opções. Ocorreu que os interpoladores 2 e 4 apresentaram erro de processamento em situações onde o expoente da função peso fosse

diferente de 1. Além disso, os resultados para o interpolador 1 com expoente da função peso 1 eram indiferentes ao número de pontos mais próximos. Observamos ainda que a composição (1,1,1) (interpolador, número de pontos mais próximos, expoente da função peso) era igual ao da (2,1,1). Ficamos, portanto, com 27 opções para cada um dos 6 PIs, o que resultou 162 processamentos.

Os registros impressos em tela, ao final da geração da grade regular, dão conta do número de pontos, delta cota, erro médio e desvio padrão. O registro de número de pontos se refere a quantidade de pontos isolados cotados, e é igual para todas as grades de um mesmo PI. O delta cota representa a amplitude da área.

Para escolher grades para uma comparação em papel, dentre as 27 geradas para cada PI, selecionamos as de menor erro em módulo e de menor desvio padrão, identificadas em negrito na Tabela 1.

## 2.6 Geração e plotagem de isolinhas

Foram geradas isolinhas para todas as grades selecionadas, com formato do MNT imagem, obtidas com o interpolador bilinear.

Para todos os planos, plote-se as isolinhas geradas pela grade (6,1) ("default"), sempre com formato do MNT imagem, com interpolador bilinear.

O projeto MC3, com espaçamento entre pontos de 10m, grade (3,3,4), foi plotado no formato grade com interpolador bicúbico, no formato grade com interpolador bilinear, e no formato imagem com interpolador bicúbico.

A etapa de plotagem correu paralelamente aos processamentos. Criou-se um novo projeto para envolver a carta plotada com um quadro, bem como cartas contendo legendas dentro de cada projeto,

modificadas de acordo com o conteúdo do desenho.

Três tipos de cartas foram produzidas: plano digitalizado plotados em vegetal para comparar com o original; planos digitalizados com espaçamento entre pontos diferentes, plotados com canetas de diferentes espessuras e em papel opaco; e planos digitalizado e de isolinhas geradas, também em papel opaco e com canetas de espessuras diferentes, tal como fizeram Aumann et al. (1991).

Exemplos dessas plotagens, para as melhores condições de erro médio e desvio padrão, podem ser vistos nas figuras 1, 2 e 3, respectivamente para os projetos MC1, MC2, e MC3.

### 3. Conclusões

O modo de digitalização mostrou que, os tamanhos de arquivos digitalizados com espaçamento de 5m entre pontos foi sensivelmente maior do que aqueles obtidos com espaçamento de 10m, entretanto, para ambos os casos, esses arquivos podem ser considerados pequenos em relação aos demais gerados em geoprocessamento. Da mesma forma, o consumo de tempo nos processamentos envolvendo a digitalização com espaçamento de pontos de 5m foi um pouco maior que para o de 10m, sem que isto resultasse em um ganho expressivo na qualidade do produto final, indicando dessa forma, que a utilização de um maior espaçamento entre pontos apresenta-se como o mais indicado na digitalização dos dados de entrada.

Pela comparação das isolinhas geradas com as digitalizadas, pode-se observar que, de uma forma geral, a sobreposição é menos precisa ao longo das linhas de drenagem e divisores d'água, confirmando o que foi observado por Aumann et al. (1991). Nas áreas de baixa declividade, pode-se observar um maior nível de imprecisão.

Para se reduzir essas imprecisões, torna-se necessário a introdução, nessas regiões, de curvas de nível

intermediárias que podem ser obtidas por interpolação manual.

No projeto MC2, com acentuada declividade e sinuosidade das curvas de nível, o uso do interpolador 1 com expoente da função peso 1 é o mais recomendável. Este interpolador apresentou melhores resultados em termos de desvio padrão e erro médio nos dois PIs do projeto.

Nas áreas de complexidade intermediária, projeto MC1, com curvas de nível caracterizadas por densidade e sinuosidade média, o interpolador 6 com expoente da função peso 8 é o mais conveniente na geração de grade regular.

Das observações realizadas pode-se evidenciar a afirmativa de Carter (1988), de que o formato grade não representa bem topografias de baixas declividades, o que levou a resultados não conclusivos quanto a indicação do melhor interpolador para áreas similares a do projeto MC3.

### 4. Referências

Engespaço, SITIM 150, Sistema Geográfico de Informações, Manual do Usuário, Versão 2.1 R01. 1990.

G.Aumann, H.Ebner e L.Tang, Automatic derivation of skeleton line from digitized contours. Photogrammetry and Remote Sensing, 46 (5) 259-268. 1991.

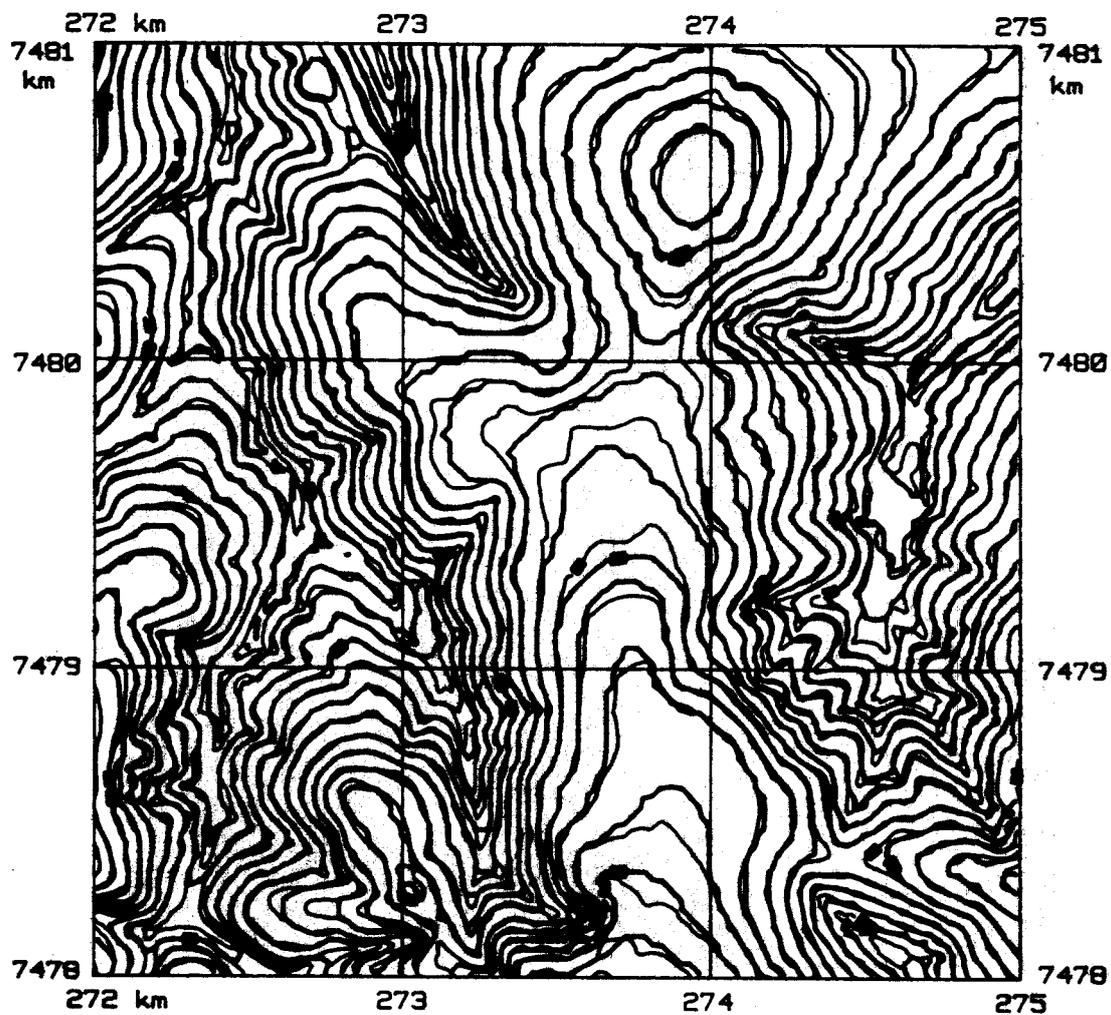
J.R.Carter, Digital representation of topographic surfaces, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (11) 1577-1580. 1988.

Tabela 1. Matriz de dados estatísticos do processamento para os vários tipos de interpoladores, número de pontos mais próximos (Pt) e expoente da função peso (n), para os projetos MC1, MC2 e MC3.

Tipo	Pt	n	Registro Estatístico	MC1		MC2		MC3	
				5m	10m	5m	10m	5m	10m
1	1	1	erro medio	0.0671	0.0890	<b>0.3042</b>	<b>0.2232</b>	-0.0528	-0.0255
			des. padrão	0.2149	0.2283	<b>1.0406</b>	<b>0.9111</b>	0.2176	0.1045
			tempo			1'42"	1'16"	51"	
1	4	1	erro medio	0.4123	0.8091	0.4930	0.4732	0.2118	0.2466
			des. padrão	0.8235	1.3050	1.4631	1.2263	0.6892	0.7004
			tempo	1'38"		1'52"	1'28"		
1	4	4	erro medio	0.0912	0.1107	0.4063	0.3097	-0.0338	-0.0121
			des. padrão	0.3004	0.2955	1.1257	0.9826	0.02058	0.1560
			tempo	1'36"		1'52"	1'27"		
1	16	1	erro medio	0.6659	0.7130	0.6474	0.6737	0.4472	0.4428
			des. padrão	1.2497	1.3018	2.2109	1.9791	1.3213	1.3556
			tempo			2'50"	2'31"		1'52"
1	16	4	erro medio	0.1485	0.1546	0.4566	0.3450	-0.0151	0.0061
			des. padrão	0.4379	0.3901	1.2086	1.0406	0.2805	0.2091
			tempo	2'36"			2'33"	1'50"	
1	16	8	erro medio	0.0805	0.0937	0.3738	0.2594	-0.0432	-0.0209
			des. padrão	0.2392	0.2436	1.1114	0.9605	0.1957	0.1099
			tempo	2'38"	2'09"	2'49"	2'34"	2'02"	
2	4	1	erro medio	0.2547	0.2596	0.4614	0.4037	0.0809	0.1117
			des. padrão	0.5919	0.5874	1.2484	1.0776	0.4342	0.4279
			tempo	1'40"	1'14"	1'54"	1'33"		
2	16	1	erro medio	0.5259	0.5492	0.5858	0.5740	0.2949	0.3038
			des. padrão	1.0568	1.0707	1.8366	1.5944	0.9986	1.0105
			tempo	2'52"	2'25"	3'03"	2'46"		2'09"
3	1	1	erro medio	0.2664	0.3493	0.3918	0.3345	0.1255	0.1621
			des. padrão	0.6188	0.6755	1.2761	1.2119	0.5203	0.5719
			tempo	2'07"	1'46"	2'22"		1'31"	1'24"
3	1	4	erro medio	0.0753	0.1037	0.3489	0.2818	-0.0337	-0.0160
			des. padrão	0.2493	0.2658	1.0662	0.9664	0.1824	0.1381
			tempo	2'05"	1'43"	2'23"	2'05"		
3	1	8	erro medio	<b>0.0661</b>	0.0895	0.3301	0.2533	-0.0437	-0.0223
			des. padrão	0.2081	0.2301	1.0575	0.9455	0.1828	0.1040
			tempo	2'04"	1'44"	2'25"	2'01"		
3	2	1	erro medio	0.4132	0.5092	0.4996	0.4335	0.2114	0.2851
			des. padrão	0.9066	0.9677	1.6025	1.4633	0.7998	0.8443
			tempo		2'03"		2'28"		
3	2	4	erro medio	0.0925	0.1227	0.4046	0.3110	-0.0313	-0.0092
			des. padrão	0.3108	0.3178	1.1428	1.0054	0.2151	0.1679
			tempo		2'09"	2'42"	2'29"		
3	2	8	erro medio	0.0694	0.0910	0.3585	0.2566	-0.0450	-0.0219
			des. padrão	0.2237	0.2392	1.0951	0.9582	0.1913	0.1084
			tempo		2'12"	2'44"	2'26"		
3	3	1	erro medio	0.5086	0.6238	0.5545	0.4884	0.2916	0.3593
			des. padrão	1.0772	1.1072	1.7924	1.6146	0.9633	1.0124
			tempo		2'40"	3'09"	2'58"	2'24"	2'18"

Tabela 1. (continuação)

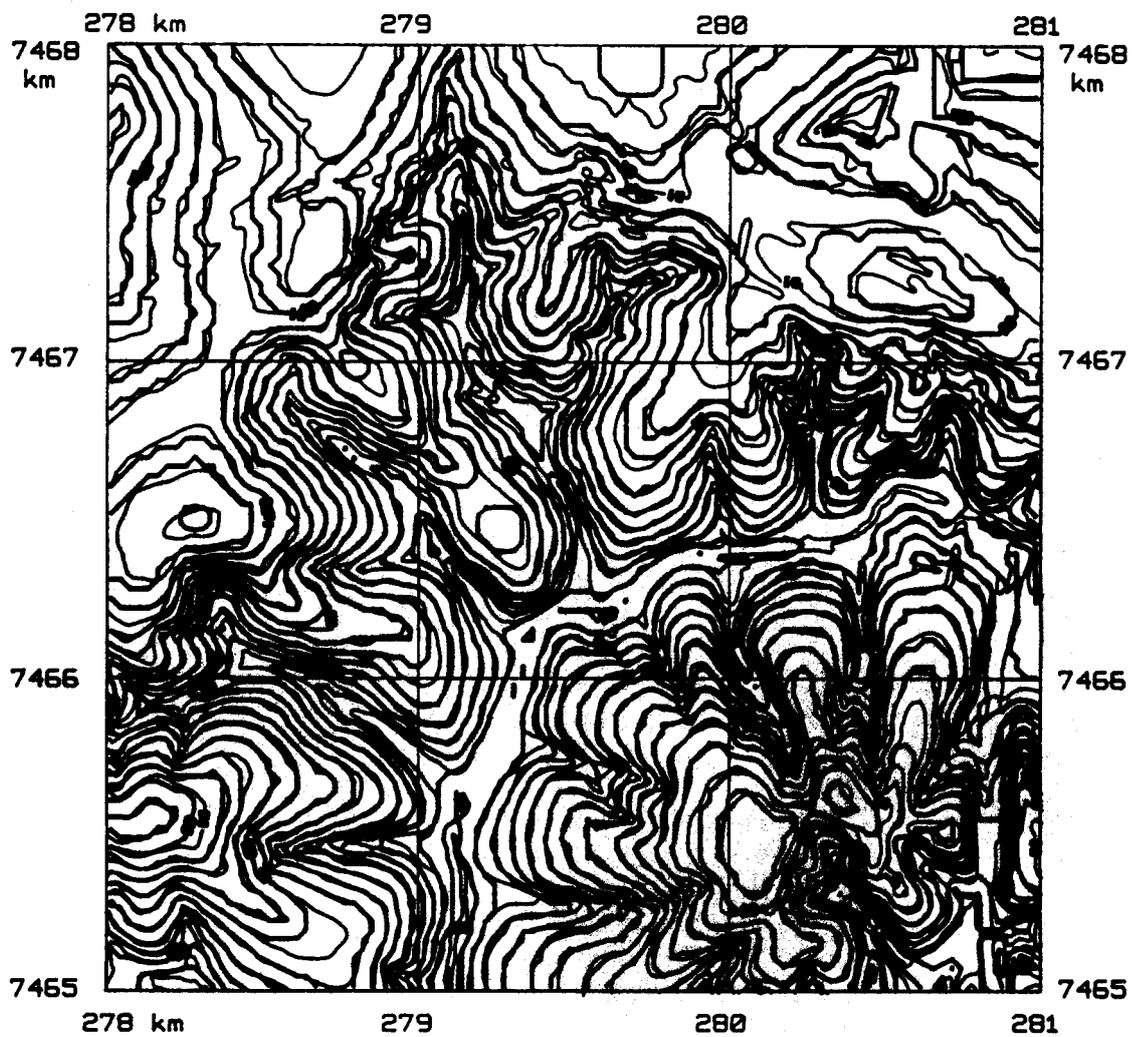
Tipo	Pt	n	Registro Estatístico	MC1		MC2		MC3	
				5m	10m	5m	10m	5m	10m
3	3	4	erro medio	0.1079	0.1371	0.4275	0.3252	-0.0278	-0.0020
			des. padrão	0.3549	0.3488	1.1744	1.0242	0.2369	0.1841
			tempo	3'00"		3'11"	3'02"	2'22"	2'12"
3	3	8	erro medio	0.0727	0.0928	0.3677	0.2586	-0.0499	-0.0214
			des. padrão	0.2304	0.2418	1.1076	0.9602	0.1939	0.1094
			tempo	2'55"	2'42"	3'10"	3'01"	2'26"	2'15"
4	1	1	erro medio	0.1601	0.2166	0.3820	0.3183	0.0317	0.0593
			des. padrão	0.4362	0.4801	1.1196	1.0656	0.3224	0.3528
			tempo		1'41"	2'24"	2'04"	1'35"	1'27"
4	2	1	erro medio	0.2802	0.3510	0.4734	0.4019	0.0979	0.1478
			des. padrão	0.6786	0.7270	1.3358	1.2339	0.5431	0.5795
			tempo	2'58"	2'16"	2'49"	2'35"		
4	3	1	erro medio	0.3629	0.4533	0.5217	0.4493	0.1593	0.2137
			des. padrão	0.8449	0.8689	1.4784	1.3528	0.6913	0.7309
			tempo	3'08"	2'51"	3'21"	3'10"	2'30"	2'25"
5	1		erro medio	0.2007	0.3526	0.5118	0.4624	0.0418	0.0879
			des. padrão	0.5190	0.7998	1.3332	1.2653	0.4100	0.5087
			tempo		2'35"	3'00"	2'55"		
5	4		erro medio	0.0708	0.0974	0.3658	0.2701	-0.0361	-0.0203
			des. padrão	0.2234	0.2575	1.1027	0.9340	0.1634	0.1177
			tempo	2'50"	2'38"	3'01"	2'53"		
5	8		erro medio	0.0663	0.0872	0.3374	0.2383	-0.0435	-0.0221
			des. padrão	0.1990	0.2262	1.0810	0.9324	0.1788	0.0993
			tempo	2'49"	2'41"	3'02"	2'52"		
6	1		erro medio	0.1809	0.2615	0.3438	0.2524	0.0800	0.1026
			des. padrão	0.4701	0.4732	1.1499	1.0246	0.3539	0.3512
			tempo	2'52"		3'05"	2'55"		
6	4		erro medio	0.0709	0.0931	0.3319	0.2594	-0.0341	-0.0182
			des. padrão	0.2149	0.2375	1.0458	0.9313	0.1633	0.1172
			tempo		2'34"	3'07"	2'54"		
6	8		erro medio	0.0662	0.0870	0.3240	0.2471	-0.0434	-0.0220
			des. padrão	0.1984	0.2249	1.0515	0.9334	0.1788	0.0993
			tempo		2'36"	3'05"	2'54"		



L E G E N D A

- ~ Isolinas digitalizadas.
- ~ Isolinas geradas no SGI a partir da grade obtida com o interpolador 5 ( $w=1/d^{**n}$ ), expoente  $n=8$ .

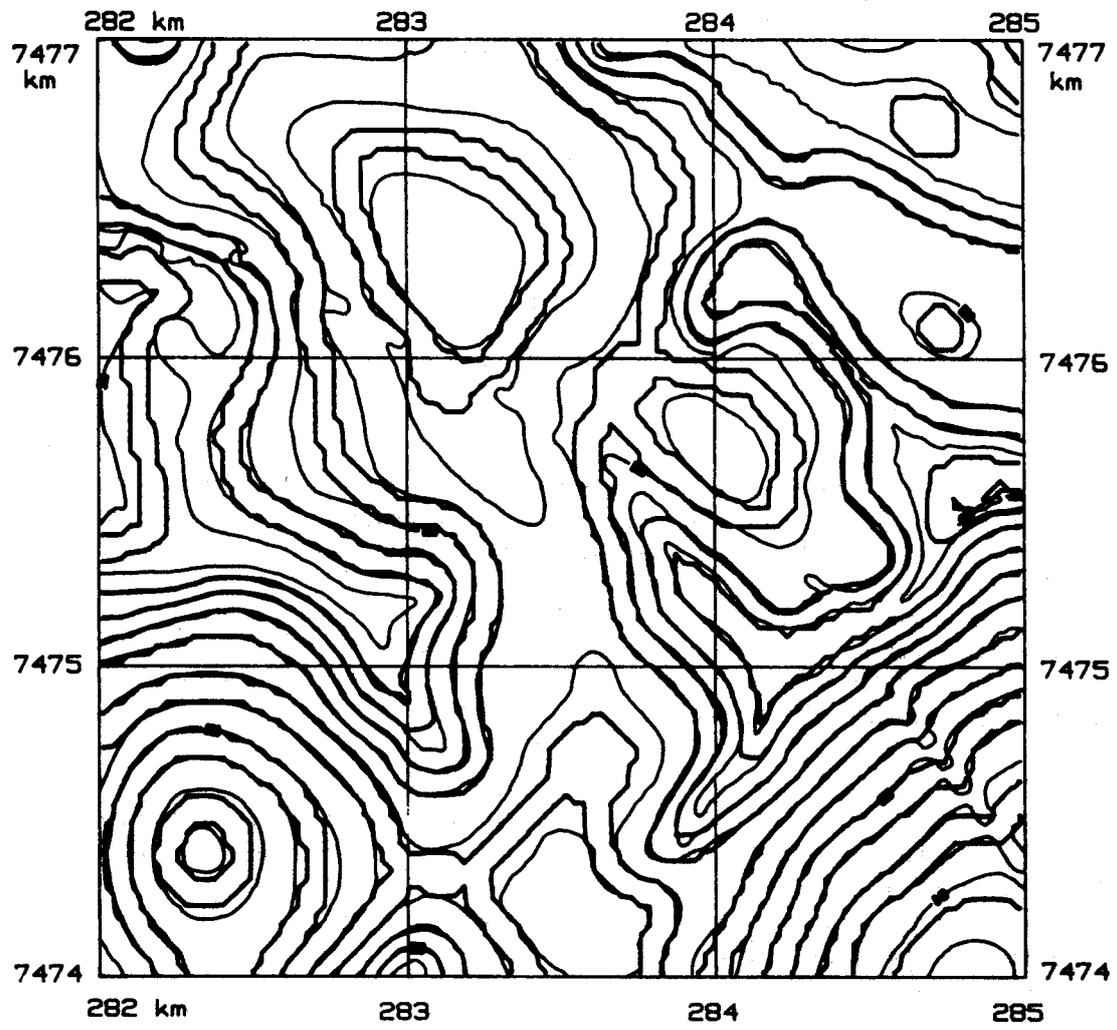
Figura 1: comparacao das isolinhas digitalizadas com as isolinhas geradas no SGI com interpolador 5 e  $n=8$ .



L E G E N D A

- ~ Isolinhas digitalizadas.
- ~ Isolinhas geradas no SGI a partir da grade refinada obtida com o interpolador 1 ( $w=1/d^{**n}$ ), no. de pontos mais proximos 1, e expoente  $n=1$ .

Figura 2: comparacao das isolinhas digitalizadas com as isolinhas geradas no SGI com interpolador 1, no. de pontos mais proximos 1 e  $n=1$ .



L E G E N D A

- ~ Isolinas digitalizadas.
- ~ Isolinas geradas no SGI a partir da grade retificada obtida com o interpolador 1 ( $w=1/d**n$ ), no. de pontos mais proximos 16, e expoente  $n=4$ .

Figura 3: comparacao das isolinas digitalizadas com as isolinas geradas no SGI com interpolador 1, no. de pontos mais proximos 16, e  $n=4$ .